



การพัฒนาและสมบัติของคอมโพสิต พอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส
สำหรับประยุกต์เป็นวัสดุขัดในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับไทย

Development and Properties of Polypropylene/ Polyethylene Vinyl
Acetate/Micro-Cellulose Composite for Polishing Materials Application in
Thailand's Jewelry Industry

กัญญารัตน์ นามนนท์*

Kanyarat Namnon

ดวงแข บุตรกุล**

Duangkhae Bootkul

เบญญา เชิดศิริบุญกร***

Benya Cherdhirunkorn

ชिरาวุฒิ เพชรเย็น***

Chiravoot Pechyen

สุรเชษฐ์ ตุ่มมี****

Surachet Toommee

Received : February 14, 2022

Revised : July 1, 2022

Accepted : July 21, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตจาก พอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุขัดสำหรับผลิตภัณฑ์ขัดเครื่องประดับโดยวัสดุคอมโพสิต

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Master of Science Students Materials and Textile Technology Program Faculty of Science and
Technology Thammasat University

**อาจารย์ประจำวิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Lecturer in the College of Creative Industries Srinakharinwirot University

***อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Lecturer in Materials and Textile Technology Department Faculty of Science and Technology
Thammasat University

****อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

ถูกผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (TSE) PP กับ EVA 30 ส่วน ต่อเรซิน 100 ส่วน (phr) และอัตราส่วนที่แตกต่างกันของไมโครเซลลูโลสที่ 5, 10, 20 และ 30 phr ตามลำดับ และนำคอมโพสิตคอมปาวด์แต่ละสูตรไปฉีดขึ้นรูปโดยเครื่อง Injection Machine ใช้แม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้ เป็นรูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยม 2 ด้าน ซึ่งเป็นรูปทรงที่ออกแบบใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขัด พบว่ารูปทรงนี้สามารถขัดชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้มุมต่างๆ ของรูปทรงนี้สามารถเข้าไปในซอกหรือร่องลึกได้มากขึ้น ช่วยลดระยะเวลาในการขัด จากนั้นนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางเคมี และทางความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่าการใช้ไมโครเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตสามารถกระจายตัวได้ดีในการขึ้นรูป และที่ไมโครเซลลูโลสอัตราส่วน 30 phr กระจายตัวได้ทั่วเนื้อเมทริกซ์มากกว่า ทำให้การขึ้นรูปเป็นวัสดุขัดได้รูปทรงที่สมบูรณ์และพื้นผิวมีความสม่ำเสมอมากกว่าสูตรอื่นๆ การเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตททำให้การกระจายตัวของไมโครเซลลูโลสดีขึ้น ลดโอกาสการเกิดช่องว่างบริเวณที่เชื่อมต่อระหว่างพอลิพรอพิลีนและไมโครเซลลูโลส ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติไม่ดูดซึมน้ำหรือน้ำมัน มีความแข็งแรง อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตวัสดุสำหรับขัดเครื่องประดับ และเนื่องจากเป็นวัสดุที่ทำมาจากธรรมชาติจึงทำให้ได้วัสดุขัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุขัดทำโดยวิธีการขัดแบบใช้เครื่องขัดผิวโลหะ (Mass finishing) ผลจากการทดลองขัดพบว่าสูตรที่มีปริมาณไมโครเซลลูโลส 30 phr ให้ผลขัดที่แตกต่างจากสูตรอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด คือที่พื้นผิวของชิ้นงานทองเหลือง มีความละเอียดและสว่างขึ้น คราบสกปรกต่างๆ หลุดออกได้เกือบหมด

คำสำคัญ : วัสดุคอมโพสิต / วัสดุสำหรับขัดเครื่องประดับ / พอลิพรอพิลีน / พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท / ไมโครเซลลูโลส

ABSTRACT

This research investigates the development of composite material properties from polypropylene (PP) polyethylene vinyl acetate (EVA) and micro-cellulose to be applied as jewelry polishing materials (Plastic Polishing Media). The composite was mixed by a twin-screw extruder (TSE): PP with 30 parts polyethylene vinyl acetate (EVA) parts per hundred resin (phr) and cellulose ratios of 5, 10, 20, and 30 phr, respectively. Each composite compound formulation was injected into the new mold design (a two-sided triangular pyramid shape) created to increase polishing efficiency. It has been found that this geometry can polish complex workpieces. The corners of this geometry can go into more deep nooks or grooves. Reduces polishing time. The physical, mechanical, chemical and thermal properties were then tested. Results were that micro-cellulose as a reinforcing agent in composite materials had good formulation dispersibility and at the 30 phr ratio of micro-cellulose, it was more dispersed throughout the matrix. This gives the polishing materials a more uniform surface and

a perfect shape than other formulations. Adding polyethylene vinyl acetate improved cellulose dispersion, reducing the probability of connective gaps between polypropylene and micro-cellulose. In this way, material properties avoided water or oil absorption and featured strength with a high thermal decomposition temperature, all suitable properties for application as jewelry polishing materials. In addition, they were environmentally friendly. Abrasive material properties were tested by machine polishing jewelry (Mass Finishing). The results of the polishing experiment showed that formulas with micro-cellulose content of 30 phr produced significantly different polishing results from other formulations. The surface of the brass workpiece is finer and brighter, Stains are almost completely removed.

Keywords : Composite Materials / Plastic Polishing Media / Polypropylene / Polyethylene Vinyl Acetate / Micro-cellulose

บทนำ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ (Gems and Jewelry Industry) เป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับ 4 ของประเทศ แม้เศรษฐกิจโลกกำลังประสบปัญหาเศรษฐกิจในสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปซึ่งเป็นตลาดส่งออกหลัก แต่แนวโน้มการเติบโตของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทยในภาพรวมยังมีอัตราการเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอุตสาหกรรมดังกล่าวมีจำนวนผู้ประกอบการและแรงงานในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับในประเทศไทยจำแนกตามโครงสร้างอุตสาหกรรมได้ 2 กลุ่ม คืออุตสาหกรรมอัญมณี และอุตสาหกรรมเครื่องประดับ (การตี และ ภูมิพร, ม.ป.ป.)

อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับในปัจจุบันนั้น มีหลายขั้นตอนที่สำคัญเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา มีคุณภาพดี หนึ่งในขั้นตอนนั้นคือ ขั้นตอนการขัดเพื่อเตรียมผิวชิ้นงานก่อนจะไปขั้นตอนอื่นๆ ซึ่งการขัดเงาเป็นกระบวนการที่ทำให้ผิวของชิ้นงานนั้นเรียบและเงางาม การขัดเงาผิวของชิ้นงานที่เป็นที่นิยมในกระบวนการผลิตเครื่องประดับนั้นมี 2 รูปแบบคือ การขัดเงาด้วยเครื่อง และการขัดด้วยมือ การขัดเงาด้วยเครื่อง (Mass finishing) ใช้สำหรับการขัดเงาเครื่องประดับจำนวนมาก ซึ่งต้องใช้ความรวดเร็วในการขัดเงาเครื่องประดับ ภายในเครื่องขัดจะประกอบไปด้วยวัสดุขัดเงาเครื่องประดับ (Media) และสารละลายหล่อลื่น (Compound) โดยวัสดุที่ขัดจะเสียดสีไปที่ผิวของโลหะที่ละน้อย ทำให้กำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกได้ เหมาะกับชิ้นงานที่มีลวดลายไม่ซับซ้อน (Alviti, 2004) หากเป็นอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่ ที่ต้องการผลิตชิ้นงานครั้งละจำนวนมากๆ จำเป็นจะต้องใช้การขัดแบบ Mass Finishing เพื่อเป็นการลดเวลาและทรัพยากรคน ในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับ วัสดุขัด (Media) ที่ต้องใช้จำนวนมากในการขัดแต่ละครั้ง และในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตอย่างแพร่หลาย ผู้ประกอบการส่วนใหญ่นิยมสั่งซื้อสินค้าจากต่างประเทศ ซึ่งตัววัสดุขัดนี้ มีหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ต้องการขัด ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับใช้วัสดุขัดประเภท พลาสติก เนื่องจากตัวเรือนที่

ใช้ทำเครื่องประดับเป็นโลหะที่มีความแข็งค่อนข้างน้อย เช่น เงิน ทอง ทองเหลือง และ ทองแดง เป็นต้น การใช้วัสดุขัดประเภทพลาสติกที่มีความแข็งไม่มากจนเกินไป จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผิวชิ้นงาน

ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นการนำวัสดุคอมโพสิต พอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตชิ้นรูปวัสดุขัด (Plastic Polishing Media) จากงานวิจัยของ Mhumak & Pechyen, 2018 ได้มีการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และ ไมโครเซลลูโลส สำหรับประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารแช่แข็ง พบว่าวัสดุมีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงดึงและแรงอัด ไม่ดูดซึมน้ำหรือน้ำมัน อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนสูง พอลิพรอพิลีนมีสมบัติเชิงกลดี น้ำหนักเบาเหนียว ทนต่อการขีดข่วน ไม่เสียรูปง่าย ใสน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้น้อย มีจุดหลอมเหลวสูง ส่วนเซลลูโลสเป็นหนึ่งในวัสดุชีวภาพที่มีมากที่สุดในโลก เซลลูโลสเป็นโฮโมพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เหนียว เป็นเส้น และไม่ละลายน้ำ มีบทบาทสำคัญในการรักษาโครงสร้างผนังเซลล์พืชให้คงที่ เซลลูโลสเป็นวัสดุชีวภาพที่มีความแข็งแรงสูงและมีคุณสมบัติทางกลที่ยืดหยุ่นอื่นๆ ทำให้ได้รับความนิยมมากในการนำมาเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ และในส่วนของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Polyethylene Vinyl Acetate, EVA) เป็นโคพอลิเมอร์แบบสุ่มที่ประกอบด้วยเอทิลีนและไวนิลอะซิเตท (VA) เป็นหน่วยที่เกิดซ้ำซึ่งมีความทนทานต่อโอโซน ทนต่อสภาพอากาศ และคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม EVA เป็นเทอร์โมพลาสติกโพลีเมอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านต่างๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ยืดหยุ่นได้ รองเท้า กาวร้อน ปลอกสายเคเบิล และอื่นๆ เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงทางกลและคุณสมบัติด้านทนความร้อน (Crawford, 2017; Brigham, 2018; Yao, Qu, & Wu, 2007)

วัสดุขัด (Media) หรือเม็ดที่มีส่วนประกอบของสารขัดถู (Abrasive) คือวัสดุที่มีสมบัติในการขัดถูเพื่อที่จะขัดผิวของชิ้นงานให้เรียบสวยเงางามหรืออาจจะขัดเพื่อต้องการทำให้ผิวของชิ้นงานให้มีลาย ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าต้องการให้ผิวชิ้นงานออกมาในลักษณะไหน โดยในส่วนของการเตรียมผิวนั้นจะเป็นการขัดแบบเปียก และการขัดเงาจะเป็นการขัดแบบแห้ง ซึ่งวัสดุขัดจะแบ่งเป็น 4 ประเภทหลักๆ คือ วัสดุขัดแบบเซรามิก วัสดุขัดพลาสติก วัสดุขัดเหล็ก และวัสดุขัดแบบแห้ง (Alviti, 2004)

วัสดุขัดพลาสติก (Plastic Media) คือการผสมพลาสติกกับสารขัดถู เช่น อะลูมินา ซิลิกอน จะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ แบบสังเคราะห์ และแบบโพลีเอสเตอร์ ซึ่งในแบบสังเคราะห์นั้นเพิ่งได้รับการพัฒนา เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สะอาดกว่าเม็ดขัดที่ทำจากโพลีเอสเตอร์ เนื่องจากเม็ดขัดแบบโพลีเอสเตอร์เมื่อเกิดแรงกระแทกจากการขัดจะทำให้เกิดฝุ่นและมีคราบแป้งคล้ายขอล็กติดบนผิวชิ้นงานซึ่งจะลำบากในการทำทำความสะอาด น้ำหนักเบา เหมาะสำหรับขัดชิ้นงานโลหะที่มีความแข็งน้อย

ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการขัดหลักๆ แบ่งเป็นความเร็วรอบขัด ประเภทของเม็ดขัด ปริมาณน้ำ และประเภทน้ำยาขัดทำความสะอาด ประเภทชิ้นงานที่ต้องการขัดต้องสอดคล้องกับประเภทของเม็ดขัด ชิ้นงานที่มีความแข็งน้อย เหมาะกับการใช้เม็ดขัดประเภทพลาสติก ชิ้นงานที่มีลวดลายซับซ้อน เหมาะกับเม็ดขัดรูปทรงที่มีมุมแหลมที่สามารถเข้าไปในซอกหรือมุมต่างๆได้ ในกระบวนการขัดโดยใช้เครื่องนั้น ที่ความเร็วรอบขัดสูงจะทำให้ได้ผลการขัดที่ดี แต่ยังมีความเร็วมาก ก็ยังเกิดการเสียดกันมากขึ้นระหว่างเม็ดขัดกับเม็ดขัด และเม็ดขัด

กับชิ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนขึ้น จึงต้องมีการเปิดน้ำให้ไหลเวียนตลอดกระบวนการขัดเพื่อลดความร้อน และเติมน้ำยขัดทำความสะอาดเพื่อช่วยให้คราบสกปรกหลุดออกง่ายขึ้น และยังช่วยหล่อลื่นลดแรงเสียดทานที่อาจทำให้เกิดความร้อนมากขึ้นด้วย (Niranjan, & Lu. 2006)

Salemane & Luyt, 2005 ได้ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ผสมเซลลูโลส พบว่าปริมาณเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น ทำให้วัสดุมีความเป็นผลึกมากขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความเสถียรทางความร้อนมากขึ้น ในการขัดแต่ละครั้งจะใช้เม็ดขัดจำนวนมาก การผลิตเม็ดขัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงจำเป็นต้องการช่วยลดการเกิดขยะจากอุตสาหกรรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะผลิตวัสดุขัดที่มีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง ไม่ดูดซึมน้ำ มีความแข็งแรงทนทานต่อแรงเสียดสี และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) ชื่อทางการค้า EL-Pro P348S จากบริษัท SCG Chemicals (Public) Co., Ltd. ประเทศไทย
2. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Polyethylene Vinyl Acetate, EVA) MV1055 จากบริษัท TPI Polene (Public) Co., Ltd. ประเทศไทย
3. เซลลูโลส (Cellulose) ที่ได้จากเยื่อกระดาษ ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ จากบริษัท SCG Packaging (Public) Co., Ltd. ประเทศไทย

วิธีการดำเนินงาน

1. การผลิตเม็ดพลาสติกคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส
ผสมเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนกับไมโครเซลลูโลสในปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 ส่วนโดยน้ำหนักต่อหนึ่งร้อยส่วนของเรซิน (Part per Hundred Resin, phr) และเติมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทปริมาณ 30 ส่วนโดยน้ำหนักต่อหนึ่งร้อยส่วนของเรซิน ดังแสดงในตารางที่ 1 ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) ที่ตั้งค่าอุณหภูมิ 165-170 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของสกรู 80 รอบต่อนาที นำเม็ดพลาสติกที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนองค์ประกอบวัสดุคอมโพสิตในแต่ละสูตร

สัญลักษณ์	ปริมาณสาร (phr)		
	PP	EVA	MC
PP/EVA/MC-5	100	30	5
PP/EVA/MC-10	100	30	10
PP/EVA/MC-20	100	30	20
PP/EVA/MC-30	100	30	30



PP/EVA/MC-5



PP/EVA/MC-10



PP/EVA/MC-20

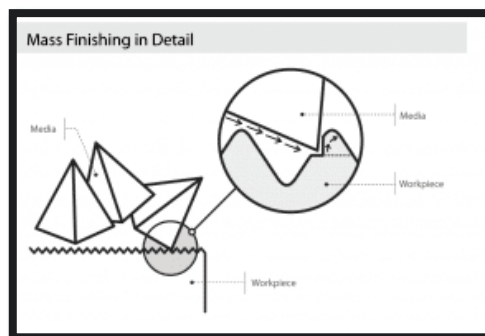


PP/EVA/MC-30

ภาพที่ 1 คอมโพลีเมอร์ PP/EVA/MC สูตรต่างๆ

2. ออกแบบแม่พิมพ์สำหรับฉีดขึ้นรูป

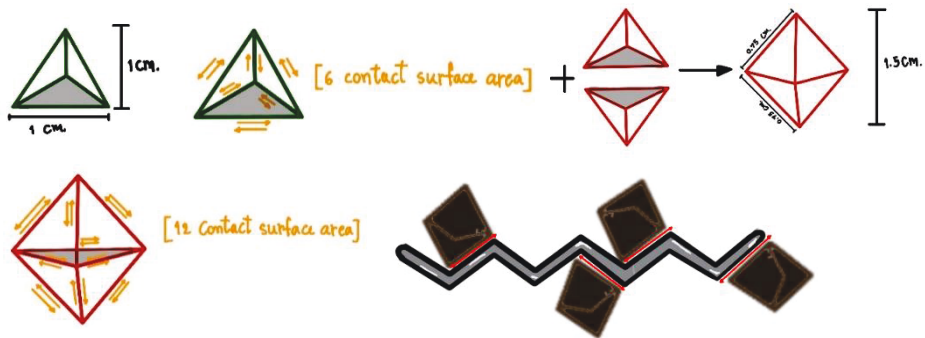
รูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยมเป็นรูปทรงที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการขัด เนื่องจากมีเหลี่ยมและมุมหลายทิศทาง ทำให้มีพื้นที่ในการขัดถูเยอะ สามารถเข้าถึงซอก ร่อง หรือมุมต่างๆ ของชิ้นงานได้ดี จึงนำรูปทรงนี้มาเป็นต้นแบบในการออกแบบรูปทรงใหม่เป็น รูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยม 2 ด้าน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิววัสดุขัดในการสัมผัสกับตัวชิ้นงานเป็น 2 เท่า มีมุมแหลมทุกทิศทาง เพื่อให้เข้าถึงซอกหรือร่องเล็ก ๆ ได้ ทำให้การขัดทำความสะอาดผิวชิ้นงานรวดเร็วขึ้น



ภาพที่ 2 รูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยมแบบดั้งเดิม



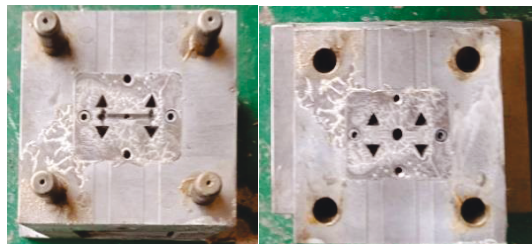
ภาพที่ 3 รูปทรงพีระมิตสามเหลี่ยม 2 ด้านออกแบบใหม่
(ที่มา : <https://doerfler-schmidt.de/en/massfinishing/>)



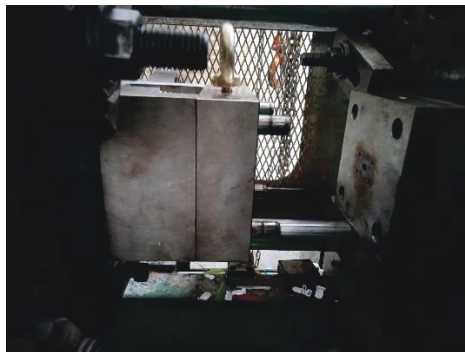
ภาพที่ 4 การออกแบบรูปทรงใหม่

3. ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูป

นำคอมโพลีคคอมปาวด์ที่ได้ทั้ง 4 สูตร มาฉีดขึ้นรูป ตามรูปทรงแม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้ โดยเครื่อง Injection Moulding ยี่ห้อ Sumitomo รุ่น SG50M แม่พิมพ์ในการฉีดขึ้นรูปมีขนาด กว้าง 13.5 cm. สูง 13.5 cm. ยาว 20.5 cm. โดยตั้งค่าอุณหภูมิในการฉีดที่ 180 องศาเซลเซียส Cycle time อยู่ที่ 17.7 วินาที แบ่งเป็น Cooling time 10 วินาที Holding time 0.75 วินาที และ Injection time 0.13 วินาที



ภาพที่ 5 แม่พิมพ์สำหรับฉีดขึ้นรูป



ภาพที่ 6 กระบวนการฉีดขึ้นรูป

4. การทดสอบสมบัติของคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส

4.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1) วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น JSM-6400 ยี่ห้อ JEOL ที่กำลังขยาย 50 และ 1000 เท่า

2) วิเคราะห์ความเป็นผลึกของคอมโพสิต โดยวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบอะตอมหรือโมเลกุลในตัวอย่างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Bruker

4.2 การทดสอบสมบัติทางกล

1) การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact testing) ของวัสดุคอมโพสิต ตามมาตรฐาน ASTM D256 ซึ่งเป็นการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด (Izod) ทดสอบโดยใช้ค้อนเหวี่ยงมากระแทกชิ้นงาน แล้ววัดค่าออกมาเป็นพลังงานที่สูญเสียไปในการทำให้ชิ้นงานแตกหัก เตรียมชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 12.9x63.5x2.9 มิลลิเมตร แล้วบากบริเวณกลางชิ้นงานด้วยเครื่องบากลึก 2.54 มิลลิเมตร เป็นมุม 45 องศา ทดสอบโดยใช้ค้อนที่มีพลังงาน 2 จูลเหวี่ยงมากระแทกชิ้นงาน แล้ววัดค่าออกมาเป็นพลังงานที่สูญเสียไปในการทำให้ชิ้นงานแตกหัก นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการ (1)

$$\text{ความทนแรงกระแทก } (\text{J}/\text{cm}^2) = \frac{\text{พลังงาน (J)}}{\text{พื้นที่บริเวณรอยบาก (cm}^2\text{)}} \quad (1)$$



ภาพที่ 7 ชิ้นงานสำหรับการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

4.3 การทดสอบสมบัติทางเคมี

1) วิเคราะห์และตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของคอมโพสิต ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) รุ่น IRSpirit ยี่ห้อ SHIMADZU ในช่วงคลื่นตั้งแต่ 650 ถึง 4000 cm^{-1}

4.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

1) วิเคราะห์อุณหภูมิในการเกิดผลึกและอุณหภูมิในการหลอมเหลวด้วยเครื่อง (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น DSC 214 polyna ยี่ห้อ NETZSCH โดยให้อัตราความร้อนคงที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ตัวอย่างปริมาณ 10 มิลลิกรัม ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยให้อุณหภูมิแก๊สตัวอย่างอยู่ในช่วงตั้งแต่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียส

5. การทดลองขัด

- 1) ใช้เครื่องขัดผิวโลหะแบบจานหมุน (Centrifugal disc machine) ยี่ห้อ Oma and tools
- 2) ขัดทั้งหมด 5 รอบ แบ่งเป็นเม็ดขัดทั้ง 4 สูตร สูตรละ 1 รอบ และเม็ดขัด Commercial grade 1 รอบ รอบละ 30 นาที ที่ความเร็วถึงขัดคงที่ 528 Hz โดยเปิดน้ำให้ไหลเวียนในระบบตลอดกระบวนการขัด เพื่อลดการเกิดความร้อนจากการเสียดสี และมีการใส่น้ำยาขัดทำความสะอาดลงไป
- 3) ใช้เม็ดขัดพลาสติกจำนวน 2.5 กิโลกรัม ใช้ชิ้นงานเป็นแหวนทองเหลืองแบบเรียบไม่มีลวดลาย 10 ชิ้น ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงรูปแบบชิ้นงานทองเหลืองที่ใช้ในการทดลองขัด

ชิ้นงานทองเหลือง	จำนวน (ชิ้น)	สูตรที่ขัด	จำนวนที่ใช้ขัด (ชิ้น)
	10	PP/EVA/MC-5	2
		PP/EVA/MC-10	2
		PP/EVA/MC-20	2
		PP/EVA/MC-30	2
		Commercial grade	2



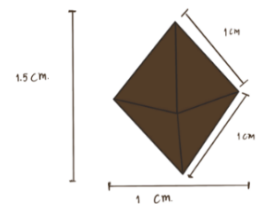
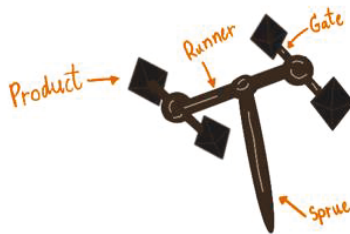
ภาพที่ 9 กระบวนการขัดแบบ Mass Finishing

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพ

1.1 เม็ดพลาสติกที่ฉีดออกมาได้ในแต่ละสูตร

ในการฉีดขึ้นรูปจะได้รูปแบบขึ้นงานออกมามีดังภาพที่ 10 ซึ่งจะประกอบส่วนของ Sprue, Gate, Runner จะเป็นส่วนที่ช่วยให้พลาสติกเหลวไหลเข้าไปสู่ส่วนที่เป็น Product ได้เต็ม Cavity ซึ่ง มีทั้งหมด 4 Cavity และ Product แต่ละชิ้นมีขนาด กว้าง x ยาว = 1 cm. x 1.5 cm.



ภาพที่ 10 ตัวอย่างเม็ดพลาสติกที่ได้จากการฉีด

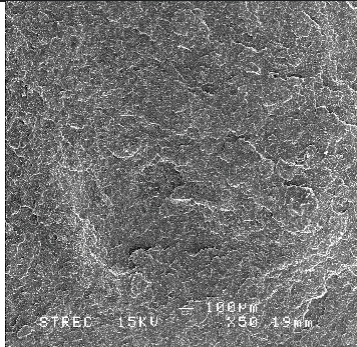
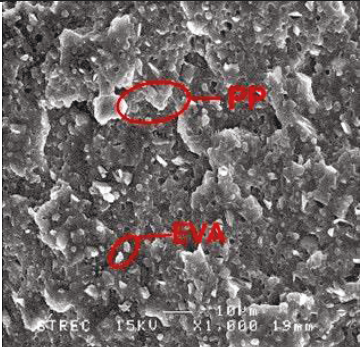
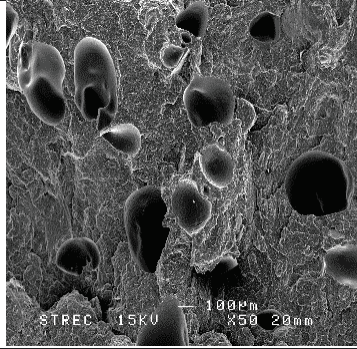
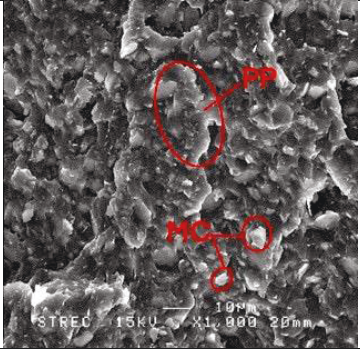
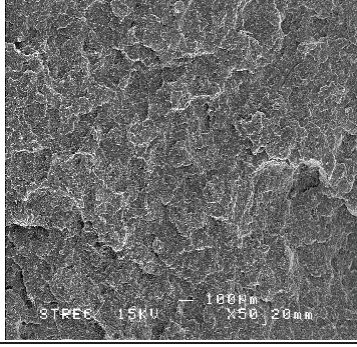
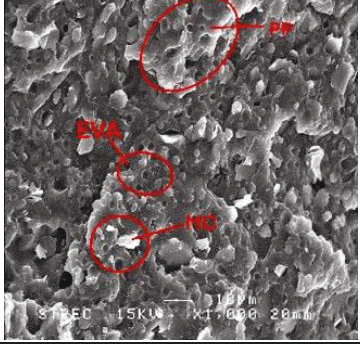
ตารางที่ 4 แสดงภาพเม็ดขัดที่ได้จากการฉีดแต่ละสูตร

สูตร	PP/EVA/MC-5	PP/EVA/MC-10	PP/EVA/MC-20	PP/EVA/MC-30
ภาพตัวอย่างเม็ดแต่ละสูตร				
ลักษณะทางกายภาพ	น้ำหนักเฉลี่ย 0.3675 g. พื้นผิวมีความหยาบ สีน้ำตาลเข้ม ลักษณะคล้ายผิวไม้ รูปทรงไม่ค่อยสมบูรณ์	น้ำหนักเฉลี่ย 0.3651 g. พื้นผิวมีความหยาบ สีน้ำตาลเข้ม ลักษณะคล้ายผิวไม้ รูปทรงไม่ค่อยสมบูรณ์	น้ำหนักเฉลี่ย 0.3691 g. ผิวหยาบกว่าสูตรอื่นๆ สีไม่สม่ำเสมอ มีฟองอากาศเกิดขึ้นเยอะ	น้ำหนักเฉลี่ย 0.3773 g. ลักษณะคล้ายผิวไม้ สีเข้มที่สุดใน 4 สูตร มีความแข็ง พื้นผิวมีความสม่ำเสมอ และมีรูปทรงที่สมบูรณ์กว่าสูตรอื่นๆ

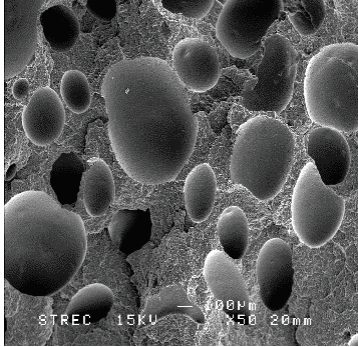
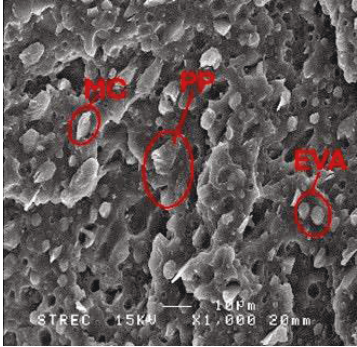
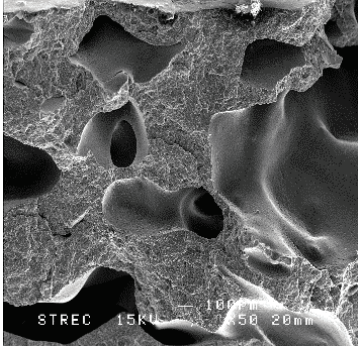
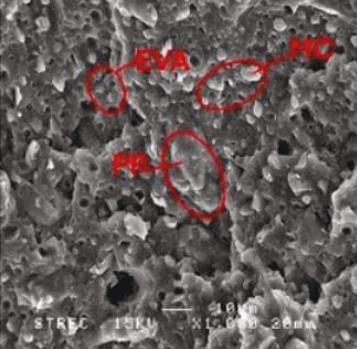
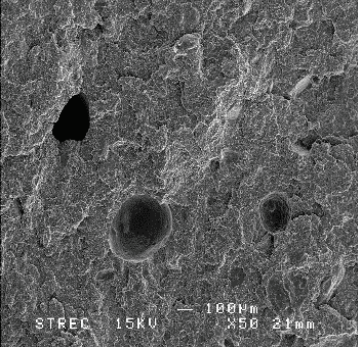
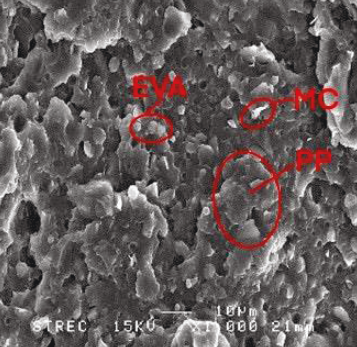
1.2 ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)

จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/EVA ภายใต้กำลังขยาย 1000 เท่า จะเห็นลักษณะสัณฐานวิทยาแบบ continuous phase คือพอลิเอทิลีนไวโนลอะซิเตทลักษณะคล้ายหยดน้ำกระจายตัวอยู่ภายในเนื้อพอลิพรอพิลีนที่เป็นเมทริกซ์ เป็นลักษณะการผสมกันของพอลิเมอร์แบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Aghjeh, Khonakdar & Jafari, 2015) และลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมโพสิต PP/MC-5 ที่กำลังขยาย 50 เท่าเกิดเป็นรูพรุนขนาดใหญ่จำนวนมาก แสดงถึงความไม่เข้ากันของวัสดุทั้ง 2 และเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมโพสิต PP/EVA/MC-5 ที่กำลังขยาย 50 เท่า จะเห็นว่ารูพรุนลดลงอย่างเห็นได้ชัด กล่าวได้ว่าการเติมพอลิเอทิลีนไวโนลอะซิเตทช่วยให้การกระจายตัวของไมโครเซลลูโลสดีขึ้น ลดโอกาสในการเกิดช่องว่างบริเวณส่วนที่เชื่อมต่อ (interphase) ระหว่างพอลิพรอพิลีนและไมโครเซลลูโลสที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่เข้ากันของวัสดุทั้งสอง ปริมาณไมโครเซลลูโลสมีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมโพสิต PP/EVA/MC-10 และ PP/EVA/MC-20 ที่ภาพกำลังขยาย 50 เท่า เกิดเป็นรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นปริมาณที่ไม่เหมาะสมในการจับตัวกับพอลิเอทิลีนไวโนลอะซิเตท ทำให้กระจายตัวไม่ทั่วเนื้อเมทริกซ์พอลิพรอพิลีน จึงเกิดการระเหยของความชื้นในไมโครเซลลูโลสไปบางส่วน ทำให้เกิดเป็นรูพรุนขึ้น คอมโพสิต PP/EVA/MC-30 ที่ภาพกำลังขยาย 50 เท่า รูพรุนกลับลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไมโครเซลลูโลส ปริมาณ 30 phr สามารถจับตัวกับพอลิเอทิลีนไวโนลอะซิเตทได้ดีขึ้น ไมโครเซลลูโลสสามารถกระจายตัวได้ดีขึ้นในการขึ้นรูป พอลิเอทิลีนไวโนลอะซิเตทสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของไมโครเซลลูโลสได้

ตารางที่ 5 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/
พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส ที่กำลังขยาย 50 และ 1000 เท่า

Sample	Magnification	
	50x	1000x
PP/EVA		
PP/MC-5		
PP/EVA/MC-5		

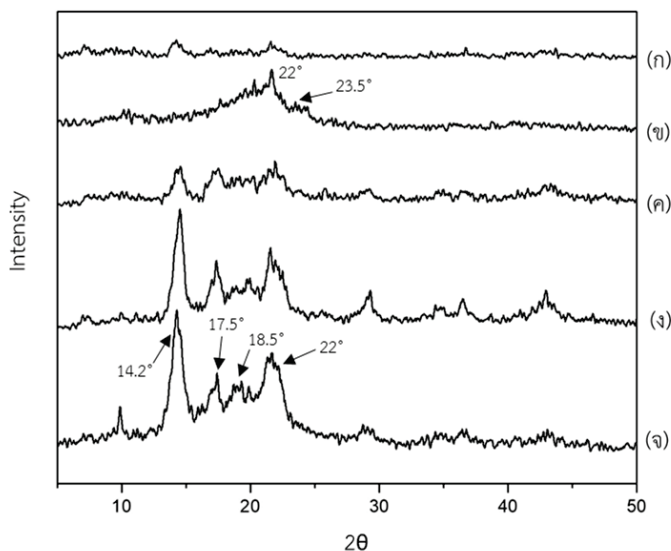
ตารางที่ 5 (ต่อ)

Sample	Magnification	
	50x	1000x
PP/EVA/MC-10		
PP/EVA/MC-20		
PP/EVA/MC-30		

1.3 ผลการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ X-ray Diffraction (XRD)

จากผลการทดสอบลักษณะโครงสร้างผลึกด้วยการทดสอบเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ในภาพที่ 11 พบว่าพอลิพรอพิลีนมีความเข้มพีคต่ำ บ่งบอกถึงความเป็นผลึกต่ำของพอลิพรอพิลีนเกรดทางการค้าที่นำมาทดสอบ ซึ่งโดยทั่วไปพอลิพรอพิลีนส่วนใหญ่มักเกิดโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกหรือแอลฟา (Monoclinic, α) บนระนาบ (110), (040), (111) และ (041) บริเวณตำแหน่ง 2θ ที่ 14, 17, 18.5, 21 และ 22 องศาตามลำดับ ส่วนเซลลูโลสโดยหลักแล้วจะเกิดพีคที่ตำแหน่ง 16 องศา แสดงถึงระนาบ $I\beta$ (200) (Ljungberg, Cavaille, &

Heux, 2006) ในขณะที่พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตตจะเกิดโครงสร้างผลึกแบบออร์ทอโรมบิก (Orthorhombic) โดยจะเกิดพีคที่ตำแหน่ง 21.3, 23.5 และ 36.3 องศาของมุมสองเซต ซึ่งแสดงถึงผลึกบนระนาบ (110), (200) และ (020) ตามลำดับ และมีลักษณะพีคกว้าง (broad) ที่บริเวณได้พีค 21.3 และ 23.5 องศา ซึ่งแสดงถึงบริเวณอสัณฐานของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Shale, Stephanus, & Pionteck, 2015) และพบความเข้มพีคสูงที่บริเวณตำแหน่ง 22 และ 23.5 องศาของมุม 2θ มีลักษณะฐานพีคกว้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ในภาพที่ 11 (ข) ผลของการเติมไมโครเซลลูโลสต่อความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนแสดงในภาพที่ 11 (ง) และ (ค) ไมโครเซลลูโลสส่งผลให้ความเข้มพีคของวัสดุคอมโพสิตทั้งที่เติมและไม่ได้เติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตตสูงขึ้น โดยปรากฏความเข้มพีคสูงที่ตำแหน่ง 14.2, 17.5, 18.5 และ 22 องศา แสดงในภาพที่ 11 (จ) ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างผลึกแบบแอลฟาของพอลิพรอพิลีน จึงสามารถกล่าวได้ว่าการเติมไมโครเซลลูโลสช่วยเพิ่มปริมาณความเป็นผลึกแบบแอลฟาของพอลิพรอพิลีน



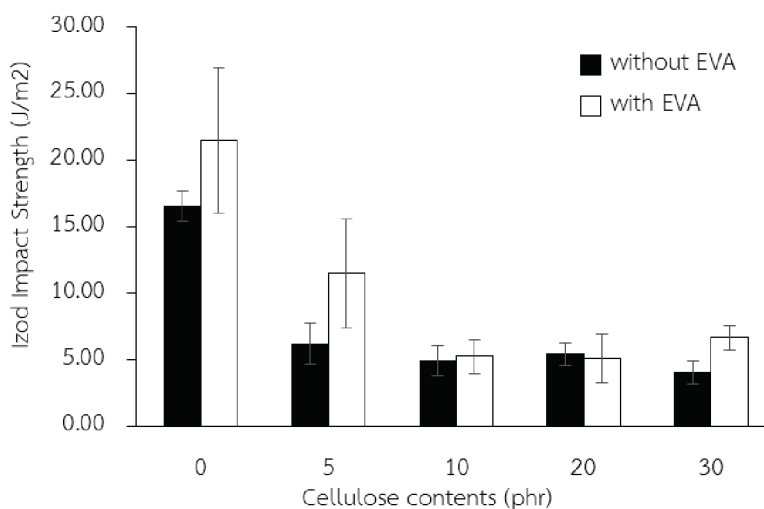
ภาพที่ 11 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ (ก) พอลิพรอพิลีน (ข) พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (ค) วัสดุผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (ง) วัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนเสริมแรงด้วยเซลลูโลสปริมาณ 20 phr และ (จ) วัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนเสริมแรงด้วยเซลลูโลสปริมาณ 20 phr ที่เติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต

2. สมบัติทางกล

2.1 ผลการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก (Impact Test)

ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกด้วยการทดสอบแบบไอซอด พบว่าการเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตตใน พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต ทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกสูงขึ้นกว่าพอลิพรอพิลีน ที่ไม่ได้เติม พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต ซึ่งเป็นผลมาจากวิเสโคอิลาสติกของ พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นคล้ายยาง ดังแสดงในภาพที่ 12 จะสังเกตเห็นว่าการ

เติมไมโครเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงในคอมโพสิตที่ปริมาณต่างๆ ทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิต โดยจากภาพการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 50 เท่า จะเห็นว่าวัสดุคอมโพสิตมีช่องว่างหรือรูพรุนเกิดขึ้น เนื่องจากไมโครเซลลูโลสยังไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีเท่าที่ควร ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต เซลลูโลสขนาดไมโครช่วยเพิ่มสมบัติในด้านความเป็นผลึก ทำให้ทนอุณหภูมิได้สูง มีความแข็ง แต่ในขณะเดียวกันก็มีความเปราะด้วย จึงสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ต่ำกว่า พอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต



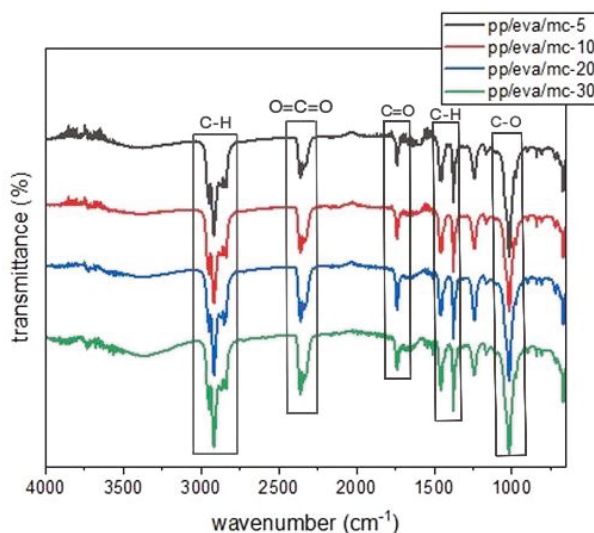
ภาพที่ 12 ความทนต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนเสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลสและเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต

3. สมบัติทางเคมี

3.1 การทดสอบด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

จากการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของวัสดุคอมโพสิต พอลิพรอพิลีน/พอลิไวนิลอะซิเตต/ไมโครเซลลูโลส ด้วยเทคนิค FTIR ดังภาพที่ 14 จะเห็นว่ามีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วงคลื่น $2838-2950\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดหดของ C-H Stretching ของแอลเคน และการสั่นแบบงอของหมู่ C-H Bending ที่ตำแหน่ง 1371 cm^{-1} และ 1465 cm^{-1} ซึ่งเป็นอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีน ส่วนพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตตก็พบการสั่นแบบยืดหดของหมู่ C-H Stretching ในช่วงตั้งแต่ $2849-2917\text{ cm}^{-1}$ และการสั่นแบบงอของหมู่ C-H Bending ที่ตำแหน่ง 1371 cm^{-1} และ 1465 cm^{-1} และยังมีารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ตำแหน่ง 1737 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหดของ C=O Stretching ซึ่งบ่งบอกถึงหมู่อะซิเตตในโมเลกุลของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต และพบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ตำแหน่ง 2349 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหดของ O=C=O Stretching ที่บ่งบอกถึงหมู่คาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวได้ว่าการผสมกันของวัสดุคอมโพสิตไม่พบการดูดกลืนคลื่นรังสีอินฟราเรด

ที่ตำแหน่งใหม่ นอกจากนี้ (Li, et al., 2012) พบว่า สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของพอลิเอทิลีนไวโนลอะซิเตท เสริมแรงด้วยผงไม้ที่ตำแหน่ง 3391 cm^{-1} ซึ่งแสดงการสั่นแบบยืดหดของหมู่ไฮดรอกซิล มีลักษณะความเข้มของสัญญาณต่ำเมื่อเทียบกับสเปกตรัมของผงไม้ จึงกล่าวได้ว่า หมู่ไฮดรอกซิลของผงไม้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับหมู่คาร์บอนิลของพอลิเอทิลีนไวโนลอะซิเตท ทำให้ลดความชื้นของผงไม้ และเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างผงไม้และพอลิเมอร์



ภาพที่ 14 อินฟราเรดสเปกตรัมของ วัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/ พอลิเอทิลีนไวโนลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส

4.สมบัติทางความร้อน

4.1 ผลการวิเคราะห์ Differential Scanning Calorimetry (DSC)

วิเคราะห์อุณหภูมิในการเกิดผลึกและอุณหภูมิในการหลอมเหลว ควบคุมอัตราการให้ความร้อน คงที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ต่อตัวอย่างปริมาณ 10 มิลลิกรัม ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยให้ความร้อน แก่ตัวอย่างตั้งแต่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส จากนั้นให้ความร้อนอีกครั้งด้วยอัตราเดิมจนถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สามารถคำนวณร้อยละของผลึกได้จากสมการ

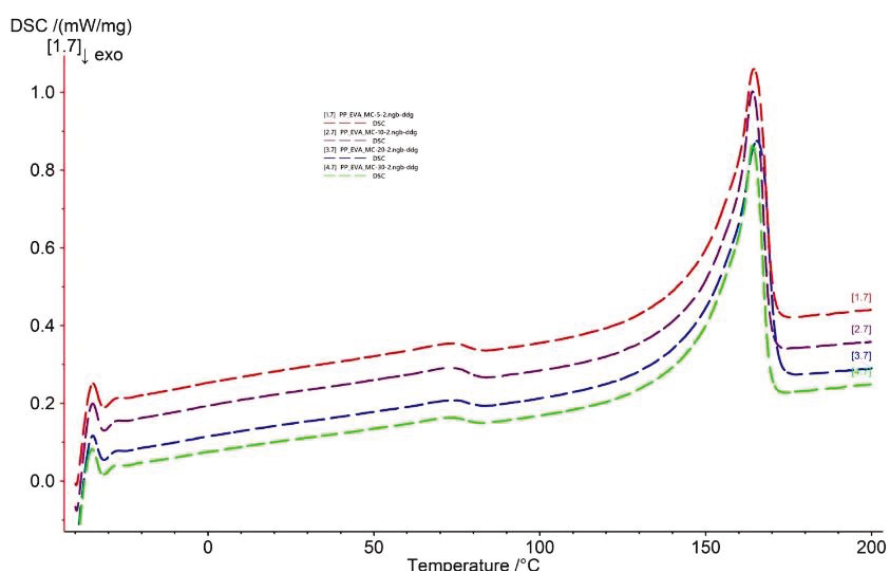
$$\% \text{ Crystallinity} = \frac{\Delta H_{\square} - \Delta H_{\square}}{\Delta H_m} \times 100$$

จากภาพที่ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนเติมพอลิเอทิลีนไวโนลอะซิเตทและเสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลสที่อัตราส่วน 5, 10, 20 และ 30 phr พบว่ามีพีคการดูดความร้อนหรือ อุณหภูมิหลอมเหลวใกล้เคียงกันที่ตำแหน่ง 164.1-165.5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน และพลังงานที่ใช้ในการสลายตัวทางความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเล็กน้อยตามน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงอุณหภูมิในการหลอมเหลว และความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของวัสดุ

คอมโพสิตพอลิพรอพิลีน เติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตตและเสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลส

Sample	$T_g(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H_m(\text{J/g})$	$X_c(\%)$
PP/EVA/cellulose-5	-28.2	73.9	164.5	65.34	31.5
PP/EVA/cellulose-10	-27.6	84.2	164.1	55.07	26.6
PP/EVA/cellulose-20	-27.5	83.3	165.5	63.27	30.56
PP/EVA/cellulose-30	-28.4	83.4	164.2	57.01	27.54



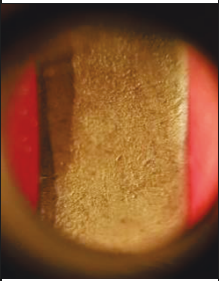
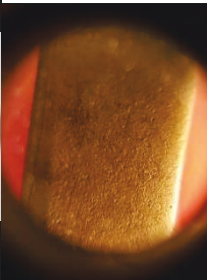
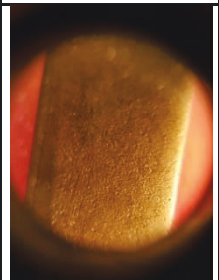
ภาพที่ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต และเสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลสที่อัตราส่วน 5, 10, 20 และ 30 phr

จากภาพที่ 15 เกิดการเปลี่ยนแปลงของกราฟที่ 3 ช่วงอุณหภูมิ ช่วงแรกจะอยู่ที่ -27°C ถึง -28°C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่วัสดุคอมโพสิตจะมีสถานะคล้ายแก้ว และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น คล้ายยาง ซึ่งเมื่อถึงอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงช่วงที่สอง จะอยู่ที่ 73°C ถึง 85°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการเกิดผลึก วัสดุคอมโพสิตจะมีสถานะคล้ายยาง และจะเปลี่ยนจากยางเป็นของเหลวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ช่วงที่ 3 ที่อุณหภูมิ 164°C ถึง 165°C วัสดุคอมโพสิตเกิดการหลอมเหลวจนหมดผลของการเติมไมโครเซลลูโลสต่ออุณหภูมิในการหลอมเหลวของตัวอย่างพบว่า อุณหภูมิในการหลอมเหลวของวัสดุคอมโพสิตมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน ดังนั้นจึงไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผสมและขึ้นรูปวัสดุ

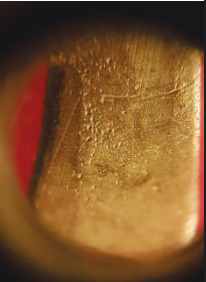
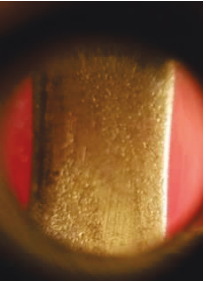
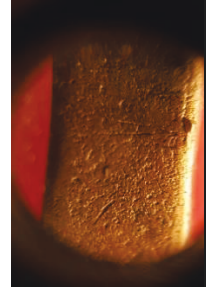
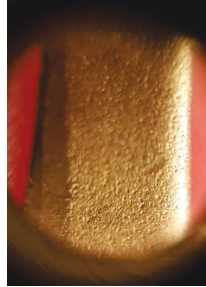
5. ผลการทดลองขัด

ผลการทดลองขัดแหวนเรียบด้วยเม็ดขัดสูตรต่างๆ และเม็ดขัด Commercial grade เป็นเวลา 30 นาที พบว่าผิวของชิ้นงานทองเหลืองหลังการขัดแตกต่างกันเล็กน้อย คือคราบสกปรกหลุดออกบางส่วน รอยขีดข่วนต่างๆ ไม่ถูกลบออก ผิวของชิ้นงานสว่างขึ้นเล็กน้อย สูตร PP/EVA/MC-30 ให้ผลลัพธ์ในการขัดดีที่สุด คือสามารถลบคราบสกปรกต่างๆ ได้ค่อนข้างเยอะ ปรับพื้นผิวชิ้นงานทองเหลืองให้สว่างขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังตารางที่ 9 ทั้งภาพที่ถ่ายจากกล้องโทรศัพท์และกล้องกำลังขยาย 60 เท่า และเมื่อขัดเปรียบเทียบกับเม็ดขัด Commercial grade ในตารางที่ 10 ก็พบว่า เม็ดขัดสูตร PP/EVA/MC-30 รูปทรงนี้ก็สามารถขัดได้อย่างดี มุมแหลมของรูปทรงสามารถเข้าถึงซอกหรือร่องต่างๆ ในชิ้นงานได้ ชิ้นงานทองเหลืองมีความสะอาด และสีพื้นผิวมีความสว่างมากขึ้นกว่า ผลการขัดด้วยเม็ดขัด Commercial grade ในระยะเวลาการขัดที่เท่ากัน จึงกล่าวได้ว่า เม็ดขัดรูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยม 2 ด้านที่ออกแบบใหม่นี้ สามารถช่วยลดระยะเวลาในการขัดได้

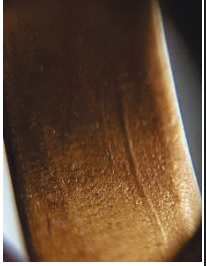
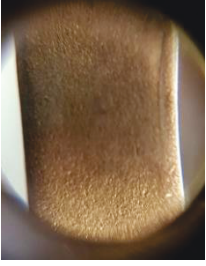
ตารางที่ 9 แสดงพื้นผิวชิ้นงานทองเหลืองที่ผ่านการขัดด้วยเม็ดขัดสูตรต่างๆ

สูตร	กล้องโทรศัพท์		กล้องกำลังขยาย 60 เท่า	
	ก่อนขัด	หลังขัด	ก่อนขัด	หลังขัด
PP/EVA/MC-5				
PP/EVA/MC-10				

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สูตร	กล้องโทรศัพท์		กล้องกำลังขยาย 60 เท่า	
PP/EVA/MC-20 				
PP/EVA/MC-30 				

ตารางที่ 10 แสดงพื้นผิวชิ้นงานทองเหลืองที่ผ่านการขัดด้วยเม็ดขัด Commercial grade

สูตร	กล้องโทรศัพท์		กล้องกำลังขยาย 60 เท่า	
	ก่อนขัด	หลังขัด	ก่อนขัด	หลังขัด
Commercial grade 				

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/เสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตวัสดุขัดเครื่องประดับ ได้ข้อสรุปดังนี้

1) การใช้พอลิพรอพิลีนเป็นเนื้อเมทริกซ์ และเสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลสนั้นทำให้พอลิพรอพิลีนมีความเป็นผลึกมากขึ้น ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติที่แข็งแรง ความต้านทานแรงกระทำของวัสดุคอมโพสิตที่เติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตดมีค่ามากขึ้น เป็นผลมาจากลักษณะวิโคอีลาสติกของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตดที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นคล้ายยาง

2) การเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตดช่วยให้ช่องว่างระหว่างพอลิพรอพิลีนและไมโครเซลลูโลสน้อยลง มีความเข้ากันมากขึ้น ทำให้ความไม่ชอบน้ำและน้ำมันของวัสดุคอมโพสิตที่มีเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงมากขึ้น เหมาะกับการนำไปประยุกต์เป็นวัสดุขัด ซึ่งจะส่งผลต่อรูปทรงหรือทำให้เกิดความเสียหายของวัสดุขัด ระหว่างกระบวนการขัดแบบเปียก

3) การลดขนาดจากเซลลูโลสเป็นไมโครเซลลูโลส ทำให้กระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ปริมาณไมโครเซลลูโลสมีผลต่อลักษณะพื้นผิวของคอมโพสิต ที่ไมโครเซลลูโลสอัตราส่วน 30 phr จะกระจายตัวทั่วเนื้อเมทริกซ์มากกว่า ทำให้การขึ้นรูปเป็นวัสดุขัดได้รูปทรงที่สมบูรณ์และพื้นผิวมีความสม่ำเสมอมากกว่าสูตรอื่นๆ

4) การทดสอบผลจากการศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกด้วยการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่าไมโครเซลลูโลสช่วยเพิ่มความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีน

5) ผลอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตด/ไมโครเซลลูโลส พบหมู่ฟังก์ชันเดิมของพอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตด และเซลลูโลส โดยไม่พบหมู่ฟังก์ชันใหม่เกิดขึ้น

6) พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตดมีอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 73.2 องศาเซลเซียส พอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 165.5 องศาเซลเซียส การเติมไมโครเซลลูโลสไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน และไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผสมและขึ้นรูปวัสดุ ทำให้วัสดุคอมโพสิตมีจุดหลอมเหลวที่สูงสามารถทนต่อความร้อนที่อาจเกิดจากการเสียดสีหรือขัดถูระหว่างกระบวนการขัดเครื่องประดับได้ ดังนั้นวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตด/ไมโครเซลลูโลสจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นวัสดุสำหรับขัดเครื่องประดับ

7) ผลจากการทดลองขัดพบว่าเม็ดขัดสูตร PP/EVA/MC-30 ให้ผลขัดที่ดีที่สุด และรูปทรงที่ออกแบบใหม่สามารถช่วยลดระยะเวลาในการขัดได้เมื่อเทียบผลการขัดกับเม็ดขัด Commercial grade

8) จากการทดสอบสมบัติต่างๆของคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตด/ไมโครเซลลูโลส จึงสรุปได้ว่าการเติม ไมโครเซลลูโลสปริมาณ 30 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งให้สมบัติที่ดีทั้งทางกายภาพและทางกล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนงานวิจัยจาก มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทั้งเอื้อเพื่อการใช้สถานที่และเครื่องมือในการศึกษาวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.จิราวุฒิ เพชรเย็น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ในการดำเนินการค้นคว้าวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงแข บุตรกุล อาจารย์ประจำ

วิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้การสนับสนุนชิ้นงานทองเหลืองในการทดลองงานวิจัย บริษัทโอมา แอนด์ ทูลส์ จำกัด ที่เอื้อเพื่อการใช้สถานที่และเครื่องจักรโลหะในการทำการทดลองขัดเครื่องประดับ และยังให้คำแนะนำต่างๆเกี่ยวกับกระบวนการขัด

เอกสารอ้างอิง

- การดี เลียวไพโรจน์ และภูมิพร ธรรมสถิตย์เดช. (ม.ป.ป.). แผนปฏิบัติการส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและ
ขนาดย่อมรายสาขา อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลาง
และขนาดย่อม-สสว. [Online]. Available : [https://www.sme.go.th/upload/mod_download/
อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ.pdf](https://www.sme.go.th/upload/mod_download/อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ.pdf) [2564, เมษายน 1].
- Alviti, S. (2004). **Practical Guide to Mass Finishing Jewelry**. [Online]. Available :
<https://www.ganoksin.com/article/practical-guide-to-mass-finishing-jewelry/>
[2564, มีนาคม 30].
- Mhumak, C. & Pechyen, C. (2018). Development and Characterization of
Polypropylene/Polyethylene Vinyl Acetate/Micro Cellulose Trays as a Prototype for
Chilled Food Packaging Application. **Walailak Journal of Science and Technology
(WJST)**, 15(11), 765-777.
- Aghjeh, M.R., Khonakdar, H.A. & Jafari, S.H. (2015). Application of mean-field theory in
PP/EVA blends by focusing on dynamic mechanical properties in correlation with
miscibility analysis. *ScienceDirect : Composites Part B* 79 (2015) 74-82.
- Crawford, C.B. (2017). Physiochemical properties and degradation. **Microplastic Pollutants ||
Physiochemical properties and degradation**, 57-100.
- Brigham, C. (2018). **Biopolymers : Biodegradable Alternatives to Traditional Plastics.
Green Chemistry || Biopolymers**, 753-770.
- Yao, D., Qu, B. & Wu, Q. (2007). Photoinitiated crosslinking of ethylene-vinyl acetate
copolymers and characterization of related properties, 47(11), 1761-1767.
- Keledi, G. (2012). Tensile and impact properties of three-component PP/wood/
elastomer composites. **Express Polymer Letters**, 6(3), 224-236.
- Ljungberg, N., Cavaille, J. & Heux, L. (2006). Nanocomposites of isotactic polypropylene
reinforced with rod-like cellulose whiskers. **Polymer**, 47, 6285-6292.
- Shale, S.J., Stephanus, L.A. & Pionteck, J. (2015). Effect of Surfactant on EG Dispersion in EVA
and Thermal and Mechanical Properties of the System. **Journal of Applied Polymer
Science**, 132(4).
- Niranjan, K. & Lu, S. (2006). **Process characterization and roughness optimization in mass
finishing**. Department of Systems Science and Industrial Engineering SUNY
Binghamton.

- Salemane, M.G. & Luyt, A. S. (2005). Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene–Wood Powder Composites. **Journal of Applied Polymer Science, Department of Chemistry, University of the Free State Qwaqwa Campus**, 100(5), 4173-4180.
- Li, D., Li, J., Hu, X. & Li, L. (2012). Effects of Ethylene Vinyl Acetate Content on Physical and Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites. **BioResources**, 7(3), 2916-2932.